在攝取高膽固醇下不同穀類爲醣類來源對大白鼠脂質代謝之影響

鄭心嫻　詹惠婷
台北醫學院保健營養學系

摘　　要

本研究之目的是探討以在攝取高膽固醇下 不同穀類爲醣類來源對大白鼠體內脂質代謝之影響，將Wistar品系之雄鼠隨機分成六組，分別餵予添加1% 膽固醇之玉米澱粉、秈米、粳米、糯米、小麥及燕麥等六種高膽固醇飼料，實驗進行四週後，分析血清三酸甘油酯、總膽固醇、高密度及低密度脂蛋白膽固醇，肝臟三酸甘油酯及總膽固醇，以及糞便中性固醇與總膽酸。結果顯示在高膽固醇情況下，與玉米澱粉組(對照組)比較，秈米組與粳米組有較低之血脂質($p<0.05$)。所有實驗組均有較對照組低之肝脂質及糞便中性固醇濃度，但以燕麥組最低，三種米類次之，小麥較高($p< 0.05$)。 糞便總膽酸則爲秈米、小麥、燕麥組較對照組高($p<0.05$)。所有實驗組之肝臟總膽固醇濃度均較對照組低。糞便中性固醇排出量各實驗組均較對照組高($P<0.05$)；總膽酸排出量則是糯米、小麥及燕麥組較對照組高($P<0.05$)。由此結果可知在降低血清脂質方面以秈米及粳米效果最好。降低肝臟脂質堆積之效果在攝取高膽固醇時以燕麥效果最佳，米類次之，小麥再次之。

前　　言

心血管疾病及其它因體內脂質狀況異常而引發的疾病在西方國家非常普遍，目前我們國人的罹患率也有日漸上升的趨勢。值得注意的是飲食中的成分如：醣類、脂質及膳食纖維等，均是影響脂質及膽固醇代謝的因子[1]。 美國心臟協會 (AHA)及營養師協會 (ADA)建議應增高膳食中醣類的能量來源比例，尤應增加富含複合性多醣類食物的攝取量。在早期學者們研究多醣類與脂質代謝之關係時，多把焦點放在膳食纖維，但近年來學者們發現無法被腸道酵素消化分解的澱粉也具有相似的生理效應。穀類不僅富含澱粉，亦含有豐富的膳食纖維，可降低罹患心血管疾病的危險性[2, 3,4,5]。但不同的穀類有不同的性質和結構，所具有的物理化學特性及生理作用亦不相同。稻米向爲國人的主食，也是主要的醣類來源，因此稻米生理效應及其對國人健康的重要性是不容忽視的。本實驗的目的即在於比較在攝取高膽固醇下不同的穀類對脂質代謝的影響，採用的實驗材料包括國人最常食用的三種稻米—秈米 (俗稱在來米)、粳米 (俗稱蓬萊米)、糯米，以及西方國家最常食用的小麥及燕麥，探討這些穀類在攝取高膽固醇下對大白鼠生長及體內脂質代謝的影響。

材料與方法

一、材料

㈠穀類來源

秈米 (Indica rice)在來 1 號、 粳米 (Japonica rice)臺農 67號、糯米 (Waxy rice)秈糯 1 號均由農業試驗所提供。小麥麵粉購自聯華公司。燕麥購自富元公司。

㈡動物品種

Wistar 品系雄鼠，購自臺大醫學院動物中心。

㈢飼料成份

玉米澱粉購自法國 Roquette Freres 62136 Lestrem, USP 級。大豆油(Soybean oil)購自統一公司。酪蛋白(Casein)、 纖維素 (α -cellulose)、礦物質混合物 (AIN-76 mineral mixture)、維生素混合物(AIN-76 vitamin mixture)均購自 ICN Biochemicals Co.。 甲硫胺酸(DL-methionine)、 重酒石酸膽鹼(Choline bitartrate)、膽固醇 (Cholesterol) 均購自Sigma Co.。

二、方法

㈠穀類製備

精白米粉製備

秈米、粳米及糯米之稻穀，均在實驗室中以碾米機進行去殼、碾白的過程。稻穀去殼後得糙米，糙米經 25 秒碾白而成精白米。精白米加水以電鍋煮熟 (水：米 (W/W) = 1：1.1)，再於 60℃下熱風乾燥 16小時。以磨粉機磨成粉，並通過 40mesh (0.42 m/m) 的分析篩，得精白米粉。

熟麵粉製備

麵粉為購自市面上之高筋麵粉。生麵粉加水(W/W = 2 ： 1) 和成麵糰，桿成厚約 0.1 公分之麵皮，置入烤箱中以 130℃烘烤 20 分鐘。再以磨粉機磨成粉，並通過 40 mesh 的分析篩，得熟麵粉。

燕麥粉製備

燕麥為購自市面上之熟燕麥片。於 60 ℃下熱風乾燥 16 小時。以磨粉機磨成粉，並通過 40mesh 的分析篩，得燕麥粉。

㈡穀類及飼料成份分析

水分、灰分、粗脂肪、粗蛋白質等一般成份分析依據 AOAC[6] 方法測定。總膳食纖維 (Total dietary fiber) 依據 Prosky 氏的方法[7]。精稱 1 克經正己烷萃取脂質後的樣品，置入 pH 值 6.0 之 50 mL Phosphate buffer 中，加入 0.2mL 之 α -amylase，於 95℃水浴加熱 30 分鐘。調整 pH值至 7.5，加入 5mg之 Protease，於 60℃水浴加熱 30 分鐘。接著調整 pH 值至 4.5，加入 0.3mL 之 Amylo- glucosidase，於60℃水浴加熱 30 分鐘後，加入95 % 酒精 280mL 使沈澱產生。經隔夜後以三片式漏斗過濾，並依序以 78% 酒精, 95% 酒精及丙酮分別清洗殘渣。所得殘渣烘乾至恆重，並測其灰份及蛋白質含量。以殘渣重量扣除其灰份及蛋白質含量即得總膳食纖維含量。並同時作空白實驗以為對照。

㈢動物實驗

1.動物分組

Wistar 品系雄鼠 36 隻，平均體重 230 克，先以老鼠飼料 (Rodent Larboratory chow 5001)餵食 1週，使其適應環境。將大白鼠隨機分爲 6 組。均餵含 1% 膽固醇之高膽固醇飼料，以不同醣類來源分成以下 6 組飼料：高膽固醇玉米澱粉組(+C)、高膽固醇秈米組(+IR)、高膽固醇粳米組(+JR)、高膽固醇糯米組(+WR)、高膽固醇小麥組(+W)、高膽固醇燕麥組(+O)。實驗期爲時 4週。

2.飼料配製

首先將本實驗所用之各種穀類進行一般成份分析，結果如表一。飼料配製乃參考 AIN-76 Diet之配方[8,9]，其中醣類佔63%、蛋白質佔20%、油脂佔10%。凡是各穀類中不足之蛋白質及油脂由酪蛋白及大豆油補足。以使各實驗組之飼料所含之總熱量及三大營養素比例均相同。各組飼料配方組成如表二。飼料配製時，將少量營養素 (如礦物質、維生素等)，於小型攪拌器充分混合一小時。再與其它大量營養素及黃豆油混合，以大型攪拌器再攪拌一小時，使各成份均勻分佈。而後置於塑膠袋包裝密封並於 4 ℃冷藏。

3.餵食方法

大白鼠個別飼養於不銹鋼籠中，自由取食，充分給水。動物房室溫維持在22 ± 1 ℃，相對濕度 40～60 % 。以自動定時器控制光照週期， 06:00 - 18:00 爲光照期(Light period)，18:00 - 06:00 爲黑暗期 (Dark period)。每兩天更新飼料並記錄攝取量，每週記錄體重一次。

表一、實驗材料及飼料之成分分析

Table 1. Composition of the experimental ingredients* (%)

Ingredient	Moisture	Protein	Fat	Ash	T.D.F.**	Nitrogen-free extract#
Indica rice	8.97±0.04	8.66±0.04	0.44±0.02	0.48±0.01	3.01±0.25	78.40±0.40
Japonica rice	7.79±0.02	7.80±0.05	0.24±0.01	0.30±0.02	2.49±0.58	81.38±0.68
Waxy rice	7.91±0.02	8.73±0.11	0.76±0.01	0.64±0.05	1.20±0.25	80.76±0.44
Wheat	5.64±0.05	15.22±0.20	0.12±0.01	0.44±0.03	2.95±0.18	75.63±0.47
Oat	4.60±0.12	14.40±0.19	9.28±0.05	1.69±0.03	10.36±0.52	59.67±0.91
+ C	10.81±0.04	19.13±0.25	10.99±0.33	2.75±0.02	1.86±0.24	54.46±0.88
+IR	8.85±0.01	18.77±0.16	8.98±0.14	2.92±0.01	3.69±0.50	56.79±0.82
+JR	7.08±0.04	19.53±0.05	9.86±0.30	2.92±0.04	2.71±0.15	57.90±0.58
+WR	7.28±0.04	18.62±0.32	10.51±0.32	3.17±0.06	2.56±0.23	57.86±0.51
+ W	6.00±0.01	19.81±0.14	10.11±0.24	2.99±0.06	2.57±0.40	58.72±1.05
+ O	5.22±0.06	19.31±0.13	9.74±0.17	3.92±0.08	8.82±0.91	52.99±1.35

* All values are mean ± S.D. (n=3)

** T.D.F.: Total dietary fiber are measured by Prosky's method.

Nitrogen-free extract =100-(Moisture + Protein + Fat + Ash + TDF)

表二、實驗老鼠飼料配方組成

Table 2. Composition of the test diets for rats* (%)

Group**	+C	+IR	+JR	+WR	+W	+O
Ingredient						
Corn starch	63	-	-	-	-	-
Indica rice	-	69. 3	-	-	-	-
Japonica rice	-	-	68. 5	-	-	-
Waxy rice	-	-	-	69. 6	-	-
Wheat	-	-	-	-	74. 4	-
Oat	-	-	-	-	-	82. 5
Casein	20	14. 0	14. 7	13. 9	8. 7	8. 1
Soybean oil	10	9. 7	9. 8	9. 5	9. 9	2. 4
Mineral mixture#	3. 5	3. 5	3. 5	3. 5	3. 5	3. 5
Vitamin mixture##	1	1	1	1	1	1
α -cellulose	1	1	1	1	1	1
Cholesterol	1	1	1	1	1	1
DL-methionine	0. 3	0. 3	0. 3	0. 3	0. 3	0. 3
Choline bitartrate	0. 2	0. 2	0. 2	0. 2	0. 2	0. 2

* Energy : 430 kcal / 100 g

** + C : Corn starch diet + 1% Cholesterol

+IR : Indica rice diet + 1% Cholesterol

+JR : Japonica rice diet + 1% Cholesterol

+WR : Waxy rice diet + 1% Cholesterol

+ W : Wheat diet + 1% Cholesterol

+ O : Oat diet + 1% Cholesterol

AIN76 Mineral mixture

AIN76 Vitamin mixture

4.樣品收集處理

(1)血清

實驗 I 之第 4週，將大白鼠禁食一夜(12小時)，隔天自腹腔注射 10 % Sodium pentobarbital，待老鼠麻醉後解剖，自下腔動脈抽取血液，在室溫下靜置 45 分鐘後，使用離心機於 4000 xg 下離心 15 分鐘。儲存於 -70 ℃ 之冷凍櫃留待分析。

(2)肝臟

採血完畢後，取下肝臟，以 0.9% 生理食鹽水清洗，剝除多餘結締組織，再以濾紙拭淨後稱重，以鋁箔紙包住，迅速置入液態氮中急速冷凍，以夾合袋密封，儲存

於 -70 ℃ 之冷凍櫃留待分析。

(3)糞便

實驗 I 之第 4 週，每兩天收集一次糞便，稱得濕重，置入夾合袋中，以液態氮急速冷凍，儲存於 -20 ℃ 之冷凍櫃，留待分析。

5.樣品分析

(1)血清成分分析

1)血清三酸甘油酯含量測定

採用 Fully-enzymatic GPO-PAP 法(10)。利用四種酵素：Lipase、Glycerokinase、Glycerol-3-phosphate oxidase 及 Peroxidase 依次與 Triglyceride 作用，最後產生淡紅色之 4-(o-benzoquinonemonoimine) phenazon，在 500 nm 波長下測其吸光度。

2)血清總膽固醇含量測定

採用 Enzymatic CHOD-PAP 法(11)。利用 Cholesterol esterase、Cholesterol oxidase 及 Peroxidase 與樣品中之 Cholesterol、Cholesterol ester 作用，產生淡紅色的 Quinonoimine，在 500nm 波長下測其吸光度。

3)血清高密度脂蛋白膽固醇含量測定

利用 Phosphotungstic acid 與 Magnesium 之作用使 VLDL，LDL 沉澱下來，以 4000 xg 離心 15 分鐘，其上清液含有 HDL，再採用 CHOD-PAP(11) 法測其高密度脂蛋白膽固醇含量。

4)血清低密度脂蛋白膽固醇含量測定

利用 Heparin 與 Sodium citrate 作用，將 LDL 沉澱下來，以 4000 xg 離心 15 分鐘，其上清液含有 VLDL，再採用 CHOD-PAP(11) 法，以總膽固醇值扣除上清液膽固醇值，即為低密度脂蛋白膽固醇含量。

(2)肝臟成分分析

1)肝臟脂質分析前處理

將冷凍的肝臟取出解凍，依 Folch 氏法(12)，剪取定量肝臟組織，加入 20mL 萃取液 (Chloroform : Methanol = 2:1, v/v)，在冰浴中以均質機磨碎後，以濾紙過濾之，加入 4mL 0.05% 氯化鈣 (w/v) 清洗濾液，定量，並收集於樣品瓶中儲存。

2)肝臟三酸甘油酯含量測定

精確量取肝臟脂質萃取液於玻璃螺蓋試管，依 Soloni 氏法(13)，經萃取、皂化、中和後，利用 Sodium metaperiodate solution 和 Sodium m-arsenite solution 的氧化還原反應，以 Acetyl-acetone reagent 進行呈色反應，在 415 nm 波長下測定吸光度，並同時與 Triolein standard solution 比對，求得肝臟中三酸甘油酯含量。

3)肝臟總膽固醇含量測定

肝臟脂質之萃取液依 Carlson 和 Goldfarb 氏法(14)處理，依 CHOP-PAP 法(11)，利用 Cholesterol esterase、Cholesterol oxidase 及 Peroxidase 與樣品中之 Cholesterol、Cholesterol ester 作用，產生淡紅色的 Quinonoimine，在 500 nm 波長下測其吸光度。

(3)糞便成份分析

1)糞便前處理

將收集之糞便置於 60℃熱風乾燥 20小時。以磨粉機磨成粉，並通過40mesh篩子，置入夾合袋密封，於 -20℃冷凍櫃儲存。

2)糞便總中性固醇萃取

依據 Folch 氏法(12) 萃取糞便脂質。精稱定量糞便粉末，加入適量萃取溶劑 (Chloroform: Methanol = 2:1, v / v) 萃取之，以濾紙過濾後，於濾液中加入 0.05% 氯化鈣 (w/v) 以純化濾液，定量，收集於樣品瓶中。

3)糞便總中性固醇含量測定

取糞便脂質萃取液依Carlson及 Goldfarb 氏法(14)，加入含 Triton -X100 之丙酮溶液。真空濃縮後採用 Enzymatic CHOD-PAP 法(11)，產生淡紅色的 Quinonoimine，於 500nm波長下測其吸光值。

4)糞便總膽酸萃取

定量糞便粉末，加入 95% Ethenol萃取，將上清液真空濃縮乾燥。再加入 Petroleum ether，去除上清液，將殘渣真空濃縮乾燥。最後再加入 Methanol 溶解之，定量，收集至樣品瓶。

5)糞便總膽酸含量測定

依 Mashige 氏法(15)，利用 3 - α -Hydroxy-steroid dehydrogenase 及 Diaphorase 與 bile acids作用，產生藍紫色 Formazan 衍生物，在546 nm 下測其吸光值。

三、統計分析

所有數據先經過 SAS 系統之 One-Way ANOVA 變異數分析進行處理，具有顯著差異者再以 Duncan's multiple range test 作組間差異比較。

結　　果

一、穀類及飼料成份分析

結果如表一所示。其中以小麥麵粉及燕麥所含之蛋白質量最高，燕麥所含之脂肪量最高。灰份以燕麥組最高。總膳食纖維以燕麥最高，糯米最低。無氮抽出物以燕麥最少。在配製飼料時，依每種實驗材料所含之蛋白質及脂肪量，調整酪蛋白及黃豆油之添加量，以使各組飼料之總熱量及三大營養素比例均相等，依此分析之結果設計出各實驗之各組飼料配方，如表二。

二、動物實驗

高膽固醇情況下，以不同穀類為醣類來源對大白鼠之影響。 (一)體重變化及飲食狀況

在高膽固醇情況下，以不同穀類為醣類來源，各組大白鼠之最終體重、體重增加均無顯著差異 (P>0.05) 。飼料攝取量及餵食效率 (Feed efficiency) 亦無差異 (P>0.05)。

(二)血清脂質濃度

1.血清三酸甘油酯濃度

血清三酸甘油酯濃度如表三所示。燕麥組顯著較玉米澱粉組及其它實驗組高 (P

<0.05)。其它實驗組與玉米澱粉組無差異，但秈米組除比燕麥組低，亦顯著比糯米組及小麥組低(P<0.05)。

2.血清膽固醇濃度

血清總膽固醇濃度如表三所示。秈米組及粳米組顯著較玉米澱粉組及糯米組低(P<0.05)。尤其是秈米組並且顯著低於小麥組及燕麥組。此結果顯示大白鼠在高膽固醇情況下，攝食秈米及粳米較能有效防止血清總膽固醇濃度上升。

血清高密度脂蛋白膽固醇濃度如表四。秈米組顯著低於玉米澱粉組(P< 0.05)，亦比其它實驗組低。糯米組除比秈米組高之外，亦顯著高於小麥組及燕麥組(P<0.05)，顯示糯米雖無降低血清總膽固醇之效果，但可使高密度脂蛋白膽固醇濃度較高。

血清低密度脂蛋白膽固醇濃度如表四。秈米組及粳米組顯著較玉米澱粉組、小麥組、燕麥組低(P<0.05) 。此結果顯示秈米及粳米在高膽固醇狀況之下能有效防止血清總膽固醇濃度上升，可能即是因爲防止低密度脂蛋白膽固醇上升之故。

高、低密度脂蛋白膽固醇濃度之比值如表四。 各實驗組與玉米澱粉組均無差異(P>0.05)。但粳米組顯著高於燕麥組。

由以上結果顯示，在防止血清脂質上升方面，秈米及粳米有較好之效果。

(三)肝臟重量及脂質濃度

肝臟重量如表五所示。以玉米澱粉組的肝臟重量顯著最重， 秈米組最輕，其它實驗組居中(P<0.05)。肝臟三酸甘油酯含量表五所示。玉米澱粉組之肝臟三酸甘油酯總含量最高，燕麥組最低，其它實驗組居中 (P<0.05) 。顯示在大白鼠攝食高膽固醇飲食之情況下，燕麥最能有效防止肝臟三酸甘油酯堆積，其它穀類的效果其次。肝臟總膽固醇含量如表五所示。肝臟總膽固醇濃度以玉米澱粉組顯著最高，小麥組其次，三個米類組再其次，而燕麥組最低(P<0.05)。顯示在攝取高膽固醇飲食之狀況下，燕麥最能有效防止肝臟總膽固醇堆積，三種米效果其次，小麥再其次。

表三、大白鼠血清三酸甘油酯及總膽固醇濃度

Table 3. Serum triglyceride and total cholesterol concentrations of rats*,**

Group#	Serum triglyceride (mg/dL)	Serum total cholesterol (mg/dL)
+ C	110.96±15.14^{bc}	117.68±16.11^{a}
+IR	86.92± 2.24^{c}	85.56±11.19^{c}
+JR	98.23± 8.05^{bc}	88.94±16.73^{bc}
+WR	124.72±27.16^{b}	112.36±26.83^{a}
+ W	117.20± 7.25^{b}	109.79±19.99^{ab}
+ O	180.92±46.88^{a}	107.63± 9.54^{ab}

* All values are mean ±S.D. (n=6)

** Values with different superscipts of a, b, c in the same column are significantly different from one another at p < 0.05 as determined by Duncan's Multiple Range Test.

Same as Table 2.

表四、大白鼠血清高密度、低密度脂蛋白膽固醇濃度及其比值

Table 4. HDL-cholesterol and LDL-cholesterol concentrations and HDL-C / LDL-C ratio in the serum of rats*,**

Group#	Serum HDL-cholesterol (mg/dL)	Serum LDL-cholesterol (mg/dL)	HDL-C / LDL-C## ratio
+ C	63. 50± 7. 19[ab]	51. 35±10. 12[a]	1. 49±0. 29[ab]
+I R	47. 25± 5. 06[c]	31. 13± 7. 60[b]	1. 66±0. 42[ab]
+J R	64. 25±11. 22[ab]	29. 96± 7. 78[b]	1. 81±0. 35[a]
+W R	69. 81± 7. 71[a]	40. 55±11. 34[ab]	1. 57±0. 32[ab]
+ W	56. 92± 3. 99[b]	43. 48±13. 24[a]	1. 41±0. 33[ab]
+ O	58. 42± 5. 33[b]	45. 89± 8. 10[a]	1. 34±0. 14[b]

* All values are mean ± S.D. (n=6)

** Values with different superscipts of a, b, c in the same column are significantly different from one another at p < 0.05 as determined by Duncan's Multiple Range Test.

Same as Table 2.

HDL-C / LDL-C ratio : HDL-cholesterol concentration / LDL-cholesterol concentration ratio

(四)糞便組成及總中性固醇、總膽酸含量

糞便重及水份含量如表六所示。糞便濕重以燕麥組顯著最高，其它實驗組居中，玉米澱粉組最低(P<0.05)。糞便乾重亦以燕麥組顯著最高，三種米類其次，小麥再其次，玉米澱粉組最低(P<0.05)。此結果顯示與玉米澱粉比較之下，各種實驗用的穀類均有糞便增量之效果，尤以燕麥最顯著，三種米及小麥其次。糞便水份含量以燕麥組最高，小麥組其次，三種米類組再其次，玉米澱粉組最低 (P<0.05)。 顯示燕麥最能使糞便含水量增加，小麥效果其次，三種米再其次。糞便粗脂肪、蛋白質及灰份含量如表七所示。糞便粗脂肪含量以粳米組及糯米組最高，小麥組其次， 燕麥組及玉米澱粉組再其次，秈米組最低(P< 0.05)。糞便粗蛋白質含量爲秈米組＞糯米組＞粳米組＞小麥組及燕麥組＞玉米澱粉組(P<0.05)。糞便粗灰份爲秈米組＞玉米澱粉組＞小麥組＞粳米組及糯米組＞燕麥組(P<0.05)。由結果顯示秈米組之糞便因粗脂肪相對含量較低，故粗蛋白質及粗灰份相對含量較高。糞便總中性固醇含量如表八所示。在每日排出量方面僅燕麥組顯著較玉米澱粉組低(P<0.05)，其餘實驗組與玉米澱粉組並無差異。在排出濃度方面則爲所有實驗組均較對照組低(P<0.05)， 顯示這些穀類均具有稀釋糞便總中性固醇濃度之效果。糞便總膽酸含量如表八所示。糞便總膽酸之排出濃度及每日排出量均是秈米組、小麥組及燕麥組較玉米澱粉組高 (P<0.05)。

表五、大白鼠肝臟重量、三酸甘油酯及總膽固醇濃度

Table 5. Liver weight, triglyceride and total cholesterol concentrations of rats*,**

	Liver weight		Liver triglyceride		Liver total cholesterol
Group#	(g)	(mg/g)	(mg/whole liver)	(mg/g)	(mg/whole liver)
+ C	14.98±1.48[a]	76.24±11.42[a]	1160.54±264.38[a]	52.44±9.00[a]	786.84±185.06[a]
+IR	11.13±1.01[c]	68.08± 7.21[ab]	760.26±126.59[b]	29.24±2.93[c]	347.99± 52.29[c]
+JR	12.08±0.64[bc]	55.47± 9.15[c]	662.85±122.66[bc]	28.60±3.53[c]	341.64± 47.36[c]
+WR	13.41±1.13[b]	59.72± 9.75[bc]	788.57±104.81[b]	27.47±3.61[c]	366.25± 58.05[c]
+ W	13.52±1.48[b]	60.10± 6.11[bc]	817.07± 97.49[b]	35.05±3.77[b]	485.95± 98.46[b]
+ O	12.60±1.05[b]	43.67± 4.90[d]	562.62± 61.42[c]	19.75±3.68[d]	245.42± 44.48[c]

* All values are mean ± S.D. (n=6)

** Values with different superscipts of a, b, c in the same column are significantly different from one another at $p < 0.05$ as determined by Duncan's Multiple Range Test.

Same as Table 2.

表六、大白鼠糞便重及水份含量

Table 6. Fecal weight and moisture content of rats*,**

Group#	Fecal wet weight (g/day)	Fecal dry weight (g/day)	Fecal Moisture (%)
+ C	1.02±0.04[c]	0.91±0.10[d]	14.87±1.69[d]
+IR	1.50±0.15[b]	1.21±0.10[b]	18.64±1.77[c]
+JR	1.35±0.08[b]	1.12±0.06[bc]	16.69±2.58[cd]
+WR	1.36±0.12[b]	1.11±0.12[bc]	16.78±1.68[cd]
+ W	1.36±0.06[b]	1.08±0.03[c]	21.89±2.74[b]
+ O	2.05±0.18[a]	1.55±0.16[a]	26.45±3.83[a]

* All values are mean ± S.D. (n=6)

** Values with different superscipts of a, b, c in the same column are significantly different from one another at $p < 0.05$ as determined by Duncan's Multiple Range Test.

Same as Table 2.

表七、大白鼠糞便粗脂肪、蛋白質及灰份含量

Table 7. Fecal crude fat, protein and ash contents of rats*,**

Group#	Fecal crude fat (%)	Fecal crude protein (%)	Fecal crude ash (%)
+ C	15.64±0.09[c]	20.47±0.16[e]	21.86±0.08[b]
+IR	14.93±0.10[d]	25.70±0.30[a]	22.60±0.21[a]
+JR	18.94±0.54[a]	23.11±0.14[c]	18.58±0.07[d]
+WR	18.75±0.25[a]	24.82±0.14[b]	18.17±0.22[d]
+ W	16.84±0.10[b]	22.70±0.01[d]	19.16±0.13[c]
+ O	16.05±0.06[c]	22.73±0.10[d]	17.68±0.21[e]

* All values are mean ± S.D. (n=6)

** Values with different superscipts of a, b, c in the same column are significantly different from one another at $p < 0.05$ as determined by Duncan's Multiple Range Test.

Same as Table 2.

表八、大白鼠糞便總中性固醇及總膽酸濃度

Table 8. Fecal total neutral steroids and total bile acids concentrations of rats*,**

Group#	Fecal total neutral steroids (mg/g)	Fecal total neutral steroids (mg/day)	Fecal total bile acids (μ mole/g)	Fecal total bile acids (μ mole/day)
+ C	92.99± 5.81a	82.37± 7.86a	6.60±0.77c	5.87±0.66c
+IR	66.22± 4.84d	77.61±13.31a	9.45±0.55b	11.10±1.52b
+JR	79.72± 6.71bc	86.11±13.57a	7.76±0.62c	8.01±0.59c
+WR	73.01± 5.49cd	87.41± 8.24a	6.66±0.42c	7.87±0.84c
+ W	81.58±10.42b	87.89±11.69a	11.05±1.90a	12.27±2.41b
+ O	30.86± 4.29e	51.76± 9.74b	12.31±1.44a	20.01±3.23a

* All values are mean ± S.D. (n=6)

** Values with different superscipts of a, b, c in the same column are significantly different from one another at $p < 0.05$ as determined by Duncan's Multiple Range Test.

Same as Table 2.

(五)脂肪、蛋白質消化率

如表九所示。脂肪消化率以玉米澱粉組最高，秈米組及小麥組其次，粳米組及糯米

組再其次，燕麥組最低(P<0.05)。蛋白質消化率爲對照組＞粳米組及小麥組＞糯米組＞秈米組＞燕麥組。由以上結果顯示，在高膽固醇狀況下，以燕麥爲醣類來源會使脂肪及蛋白質消化率最低，其它實驗組居中，對照組因排出脂肪及蛋白質量較少，故消化率最高。

表九、大白鼠脂肪及蛋白質消化率

Table 9. Digestibility of fat and protein in rats*,**

Group#	Fat digestibility (%)	Protein digestibility (%)
+ C	92. 89±0. 04[a]	90. 70±0. 07[a]
+I R	90. 96±0. 06[b]	84. 44±0. 18[d]
+J R	89. 43±0. 30[c]	87. 11±0. 08[b]
+W R	89. 58±0. 14[c]	86. 21±0. 08[c]
+ W	90. 94±0. 06[b]	87. 79±0. 01[b]
+ O	87. 55±0. 05[d]	82. 36±0. 08[e]

* All values are mean ±S.D. (n=6)

** Values with different superscipts of a, b, c in the same column are significantly different from one another at $p < 0.05$ as determined by Duncan's Multiple Range Test.

Same as Table 2.

討　　論

一、不同穀類對血清脂質之影響

在血清膽固醇方面，秈米及粳米這兩種直鏈澱粉含量較高之米，均有降低大白鼠血清總膽固醇及血清低密度脂蛋白膽固醇之效果，此結果與本實驗室前人所提出粳米精白米可使大白鼠血清膽固醇濃度降低之結果相似[16,17]。1989年 Behall等人[18] 及 1992 年 Amelsvoort 等人[19]均於人體實驗發現，直鏈澱粉含量高之澱粉，有降低血清膽固醇之效果。而 1982 年 Demigne 等人[20]及 1992年 Morand 等人[21]亦於大白鼠實驗發現，無法消化之澱粉或直鏈澱粉含量高的澱粉，可使大白鼠血清膽固醇濃度降低。直鏈澱粉在加工貯存之過程亦產生老化現象，而此老化之澱粉因不易被消化，故形成難消化澱粉[22]。難消化澱粉具有許多類似膳食纖維的生理效應，其中之一即爲可降低血清脂質。有學者認爲可能的機制是因難消化澱粉被腸道微生物利用產生揮發性脂肪酸，由腸壁細胞吸收後經腸肝循環運送至肝臟，會抑制肝臟中膽固醇合成酵素：HMG-CoA reductase之活性，減少膽固醇合成；亦可能是難消化澱粉於腸道中結合膽酸及內生性固醇排出體外，使體內膽固醇濃度降低[20]。部份學者則認爲精白米抑制血糖及胰島素濃度上升，可能即可抑制體內脂質合成。1986年 Sidbury等人發現白米澱粉比玉米澱粉較不易使餐後血糖濃度上升(23)，而1984年Goddard 等人則發現，即使同爲精

白米，但直鏈澱粉含量愈高者，愈不易使餐後血糖及胰島素濃度上升[24]。1991年Leonora等人認爲精白米抑制餐後血糖、胰島素上升的效果須視直鏈澱粉含量而定，其原因可能是因直鏈澱粉老化後會阻礙消化，使吸收延緩之故[25]。當血糖及胰島素濃度上升，會促進血液中之葡萄糖進入細胞行醣解作用，並使Pyruvate dehydrogenase 活性提高，則使乙醯輔 A(Acetyl - CoA)濃度增加，故膽固醇及脂質合成材料增加。血糖及胰島素濃度上升也會使肝臟細胞中之 Acetyl-CoA carboxylase 活性提高，促進肝臟的脂質合成[26]。

玉米澱粉組飼料中蛋白質全爲動物蛋白質。燕麥、米及小麥主要成分爲澱粉其次爲蛋白質，而其各配製之飼料中蛋白質只含部分動物蛋白質。此爲造成玉米澱粉組有較高血清膽固醇原因之一。

本研究結果有燕麥組有升高血清三酸甘油酯趨勢，前人探討燕麥對血清三酸甘油酯影響的研究很少，1984 年 Storch等人指出血清三酸甘油酯濃度不受燕麥飲食之影響[27]。而燕麥對血清膽固醇均無影響，此結果與本實驗室前人所得結果相符[16]。

二、不同穀類對肝臟脂質之影響

燕麥爲具有最佳之防止肝臟膽固醇及三酸甘油酯堆積效果之穀類。Anderson等人過去之實驗結果即發現燕麥可有效降低肝臟脂質含量[28,29]。可能的作用機制是燕麥含有高量的水溶性膳食纖維，具有各種降低體內脂質之生理功能，包括：改變腸道膽固醇吸收和代謝；在腸道中結合膽酸增加膽酸排出體外；被腸道微生物利用形成短鏈脂肪酸，抑制肝中膽固醇合成等[26]。燕麥組在攝食高膽固醇狀況下，可最有效預防脂質堆積。

秈米、粳米及糯米有預防肝臟三酸甘油酯及膽固醇堆積之效果，與本實驗室前人發現精白米可預防肝臟脂質堆積之結果相似[16]。

小麥亦有較玉米澱粉好之降低肝臟脂質的效果。由於小麥組之飼料總膳食纖維量及糞便排出量均較對照組高，故推測其加工之過程產生不易消化之澱粉，有膳食纖維之效應。但效果不如米類顯著。

三、不同穀類對糞便總中性固醇及總膽酸之影響

在糞便總中性固醇方面，時僅燕麥組之糞便總中性固醇每日排出量較低，其餘各組與對照組無差異，但各種穀類均有較對照組好的稀釋糞便中性固醇濃度之效果，推測此乃因這些穀類所具有之膳食纖維有糞便增量之效果，故可稀釋糞便之中性固醇濃度[30]。

在糞便總膽酸方面，燕麥均排出高量之糞便總膽酸，此結果與 Story 等人之發現相符[31]，證實燕麥降低體內脂質的原因之一可能即爲增加糞便膽酸之排出。而秈米有增加膽酸排出效果，證實Demigne等人於1982 年提出之直鏈澱粉形成難消化澱粉後，可促膽酸排出之理論[20]。

四、不同穀類對糞便排出量之影響

本實驗所使用的穀類，以燕麥所含的膳食纖維量最高。三種米所含的膳食纖維量則與本身之直鏈澱粉量成正比，可能是因加工及貯存過程，含直鏈澱粉愈高的米，愈易老化產生難消化澱粉，而本實驗室所採用的膳食纖維測定法爲酵素重力法，測得之膳食纖維包括未被消化之澱粉在內，故會得到直鏈澱粉含量愈高的米，其膳食纖維含量亦愈高之結果。由分析結

果可看出所配製的各組實驗飼料所含之總膳食纖維量，均與該組所使用之穀類原本即具有之總膳食纖維量成正比，各組大白鼠每日糞便排出量亦與各組實驗飼料之總膳食纖維量成正比，即飼料中所含的膳食纖維量愈高，該組大白鼠所排出之糞便量亦愈高。此結果印證了膳食纖維確實具有糞便增量之效果(30)。且糞便量爲燕麥組最高、對照組最低，其它實驗組居中之結果，與本實驗室前人所得之結果相似(16)。

五、不同穀類對蛋白質、脂肪消化率之影響

由實驗結果發現對照組之蛋白質、脂肪消化率均最高，燕麥則使消化率最低，其它實驗組居中，並且消化率與總膳食纖維量成反比，顯示總膳食纖維量愈高，會使脂肪及蛋白質消化率愈低。此結果與學者們所提出之膳食纖維減少脂肪、蛋白質消化吸收之結果相符(32)。再來米與燕麥的蛋白質消化率較低可能與再來米直鏈澱粉高而難消化澱粉多有關，與燕麥膳食纖維含量高有關。

六、不同穀類對可利用能量之影響

表一中無氮抽出物與傳統的意義不同，在此分析膳食纖維而非粗纖維。無論燕麥或燕麥組之膳食纖維量均爲最高，故其無氮抽出物最少。本試驗設計以無氮抽出物與膳食纖維爲醣類來源(表二)，故各組飼料之可利用能量(available energy)會因膳食纖維含量太高而降低。但由表十顯示，在高膽固醇情況下，以不同穀類爲醣類來源，各組大白鼠之最終體重、體重增加均無顯著差異($P>0.05$)。在配製飼料時，依每種實驗材料所含之蛋白質及脂肪量，調整酪蛋白及黃豆油之添加量，以使各組飼料之總熱量及三大營養素比例均相等，依此分析之結果設計出各實驗之各組飼料配方，如表二。故各組飼料之可利用能量是接近的。

結　　論

由本研究結果可知在降低血清脂質方面以秈米及粳米效果最好。降低肝臟脂質堆積之效果在攝取高膽固醇時以燕麥效果最佳，米類次之，小麥再次之。

誌　　謝

承台灣省農業試驗所提供原料米，特申謝意。

參考文獻

1. Michiel, R. H., W. Lowik., J. k. Frans., O. Jacobus., W. Susanne., and F. M. Joanna: Nutrition and serum cholesterol levels among elderly men and women. J. Gerontology: Med. Sci. 46: M23-28 (1991).
2. James, W. A., and J. G. Nancy: Hypocholesterolemic effects of oat and bean products. Am. J. Clin. Nutr. 48: 749-753 (1988).
3.Jacqueline, K. H., P. N. Supriya., J. S. Brent., and P. F. Lawrence: Dietary fiber sources lower blood cholesterol in C57BL/6 mice. J. Nutr. 121:1360-1365 (1991).

4. Sheldon, R., S.P. Andrea., J. S. Daniel., P. Pankaja.,C. E. Kathleen., and J. C. John: Blood lipids, lipoproteins, and uric acid in men fed diets containing fructose or high-amylose cornstarch. Am. J. Clin. Nutr. 49: 832-839 (1989).
5. Anderson, T. A.: Effect of carbohydrate source on serum and hepatic cholesterol levels in the cholesterol fed rats. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 130: 884-887 (1969).
6. Association of Official Analytical Chemists.: Official Methods of Analysis, 13th ed.(1980)
7. Prosky, L., N. G. Asp., I. Fuda., J. W. Devries., T. F. Schweizer., and B. F. Harland: Total dietary fiber in foods. Enzymatic-Gravimetric Method. J. Ass. Offic. Anal. Chem. 73: 1105-1106 (1990).
8. Bieri, I. G., G. S. Stoew Sand., G.M. Briggs., R.W. Phillips., J. C. Woodard., and J. J. Knapka: Report of the American Institute of Nutrition and Ad Noc Committee on standards for nutritional studies. J. Nutr. 107: 1340 -1348 (1977).
9. Bieri, I. G., G. S. Stoew Sand., G.M. Briggs., R.W. Phillips., J. C. Woodard., and J. J. Knapka: Second report of the American Institute of Nutrition and Ad Noc Committee on standards for nutritional studies. J. Nutr. 110: 1726 (1980).
10.Mcgowan, M. W., J. D. Artiss., D. R. Strandbergh., and B. Zak: A peroxidase-coupled method for the colorimetric determination of serum triglycerides. Clin. Chem. 29: 538-542 (1983).
11.Richmond, W.: Preparation and properties of a cholesterol oxidase from Nocardia sp. and its application to the enzymatic assay of total cholesterol in serum. Clin. Chem. 19: 1350-1356 (1973).
12.Folch, J., M. Lees., and G. H. Sloane-Stanley: A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J. Biol. Chem. 226:497 -509 (1957).
13.Soloni, F. G: Simplified manual micromethod for determination of serum triglycerides. Clin. Chem. 17: 529-534 (1971).
14.Carlson, S. E., and S.Goldfabr: A sensitive enzymatic method for the determination of free and esterified tissue cholesterol. Clin. Chim. Acta. 79:575-582 (1977).
15.Mashige, F., N. Tanaka., A. Maki., S. Kamei., and M. Yamanaka: Direct spectrophotometry of total bile acids in serum. Clin. Chem. 27: 1352-1356 (1981).
16.謝孟志：稻米及其膳食纖維對老鼠體內脂質代謝之影響。台北醫學院藥學研究所食品化學組碩士論文 (1991).
17.蔣書娟：精白米及不同量米麩對大白鼠體內膽固醇代謝的影響。台北醫學院藥學研究所食品化學組碩士論文 (1992).
18.Behall, K. M., D. J. Scholfield., I. Yuhaniak., and J. Canary: Diets Containing high amylose vs amylopectin starch: effects on metabolic variables in human subjects. Am. J. Clin. Nutr. 49: 337-344 (1989). 19.Amelsvoort, J. M., and J. A. Weststrate: Amylose- amylopectin ratio in a meal affects postprandial variables in male volunteers. Am.J. Clin. Nutr. 55: 712-718 (1992).
20.Demigne, C.,and C. Remesy: Influence of unrefined potato starch on cecal fermentations and volatile fatty acid absorption in rats. J. Nutr. 112: 2227-2234 (1982).

21.Morand, C., C. Remesy., M. Levrat., and C. Demigne: Replacement of digestible wheat starch by resistant corn starch alters splanchnic metabolism in rats. J. Nutr. 122: 345- 354 (1992).

22.Berry, C. S.: Resistant starch : formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fiber. J. Cereal Sci. 4: 301-314 (1986).

23.Sidbury, J. B., Y. T. Chen.,and C. R. Roe: The role of raw starch in the treatment of type I Glycogenesis. Arch. Intern. Med. 146: 370-373 (1986).

24.Goddard, M. S., G. Young., and R. Marcus: The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. Am. J. Clin. Nutr. 39: 388-392 (1984).

25.Leonora, N. P., U. T. Lilian., and O. J. Bienvenido: Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. Am. J. Clin. Nutr. 54: 871-877 (1991).

26.Anderson, J. W., and A. E. Siesel: Hypocholesterolemic effect of oat products. Adv. Exp. Med. Biol. 270: 17-36 (1990).

27.Storch, K., J. W. Anderson., and V.R. Young: Oat-bran muffins lower serum cholesterol of healthy young people. Clin. Res. 34:447-455 (1984).

28.Chen, W-J. L., J. W. Anderson., and M. R. Gould: Effects of oat bran, oat gum, and pectin on lipid metabolism of cholesterol fed rats. Nutr Rep. Int. 24: 1093-1100 (1981).

29.Jennings, C.D., K. Bdeyn., S. R. Brides., P.Wood.,and J. W. Anderson: A comparison of the lipid -lowering and intestinal morphological effects of cholestyramine, chitosan and oat gum in rats. Proc. Soc. Exp.Biol.Med. 189: 13-22 (1988).

30.Stephen, A. M. and J. H. Cummings: Mechanism of action of dietary fiber in the human colon. Nature. 284: 283-284 (1980).

31.Story, J. A., and D. Kritchevsky: Comparison of the binding of various bile acids , bile salts in vitro by several types of dietary fiber. J. Nutr. 106: 292-299 (1976).

32.Schneeman, B. O.: Dietary fiber. Food technol. Oct:133- 139 (1989).

33.Baba, N. H. Radwan, and T. V. Itallie: Effcet of casein versus soyprotein diets on body composition ans serum lipid levels in adult rats. Nutrition Research. 12:279- 288 (1992)

Different Cereals as Carbohydrate Sources Influence Lipid Metabolism of Rats Fed with Cholesterol-Containing Diets

Hsing-Hsien Cheng and Hui-Ting Chen

Shool of Nutrition and Health Sciences

Taipei Medical College

Abstract

This study was to investigate the effects of various cereals on lipid metabolism in rats. Thirty -six adult male Wistar rats were randomly divided into six groups, all of which were fed diets containing 1% cholesterol. The six groups included: Corn starch group (+C), Indica rice group (+IR), Japonica rice group (+JR), Waxy rice group (+WR), Wheat group (+W) and Oat group(+O). Rats were sacrificed after four-week feeding, and artery blood, liver and feces were collected. Analytical items included serum triglyceride, total cholesterol, HDL- cholesterol, LDL-cholesterol, liver triglyceride and cholesterol, fecal neutral steroids and bile acids. The results showed that +IR and +JR had lower serum lipid levels than +C ($p<0.05$). All groups had lower liver lipid and fecal neutral steroid concentration than +C: +O was lower than others, and +IR, +JR, +WR were lower than +W ($p<0.05$). +IR, +W, and +O had higher fecal bile acid content than +C ($p<0.05$). All groups had lower liver cholesterol concentration, ($p<0.05$). All groups had lower fecal neutral steroids content than +C ($p<0.05$).

Key Word: Cereal, Lipid metabolism, Wistar rat, Hypercholesterolemic